



## فرم پیشنهاد موضوع پایان نامه کارشناسی ارشد

## 1- مشخصات دانشجو

نام و نام خانوادگی: شماره دانشجویی: رشته تحصیلی:  
کد ملی: سال و نیمسال ورود: گرایش:  
دانشگاه محل اخذ مدرک کارشناسی: معدل کارشناسی:  
معدل مقطع کارشناسی ارشد تا کنون: شماره همراه:

## 2- عنوان و نوع پایان نامه

عنوان پایان نامه به فارسی: تشخیص خطا در آرایه های فتوولتاییک دارای تکنیک های ردیاب نقطه حداکثر توان، با استفاده از مدل های یادگیری عمیق

عنوان پایان نامه به انگلیسی:

Fault Detection in Photovoltaic Arrays Equipped with Maximum Power Point Tracking Techniques, Using Deep Learning Models

نوع کار تحقیقاتی: ☐ کاربردی ☐ بنیادی ☐ نظری ☒ توسعه ای

تعداد واحد پایان نامه: 6

## 3- مشخصات استادان راهنما و مشاور

## الف) استاد راهنمای اول

نام و نام خانوادگی: قاسم علی پور  
آخرین مدرک تحصیلی: دکتر  
رتبه دانشگاهی: استادیار  
سمت فعلی: عضو هیات علمی  
تعداد پایان نامه های راهنمایی شده  
تعداد پایان نامه های در دست راهنمایی

رشته و گرایش تحصیلی: مهندسی برق - الکترونیک  
سال و محل اخذ آخرین مدرک تحصیلی: 1391 - دانشگاه شهید بهشتی  
سنوات تدریس در دوره کارشناسی ارشد: 11 سال  
محل خدمت: دانشگاه صنعتی همدان  
کارشناسی ارشد: 9 دکتر  
کارشناسی ارشد: 0 دکتر  
آدرس و تلفن: دانشگاه  
دانشگاه: صنعتی همدان

## ب) استاد راهنمای دوم

نام و نام خانوادگی: آخرین مدرک تحصیلی: رتبه دانشگاهی: سمت فعلی: تعداد پایان نامه های راهنمایی شده

رشته و گرایش تحصیلی: سال و محل اخذ آخرین مدرک تحصیلی: سنوات تدریس در دوره کارشناسی ارشد: محل خدمت: کارشناسی ارشد: دکتر  
آدرس و تلفن: دانشگاه: صنعتی همدان

## ج) استاد مشاور اول

نام و نام خانوادگی:	رشته و گرایش تحصیلی:
آخرین مدرک تحصیلی:	سال و محل اخذ آخرین مدرک تحصیلی:
رتبه دانشگاهی:	سنوات تدریس در دوره کارشناسی ارشد:
رتبه دانشگاهی:	محل خدمت:
	سنوات تدریس در دوره دکتری:
	آدرس و تلفن:

## د) استاد مشاور دوم

نام و نام خانوادگی:	رشته و گرایش تحصیلی:
آخرین مدرک تحصیلی:	سال و محل اخذ آخرین مدرک تحصیلی:
رتبه دانشگاهی:	سنوات تدریس در دوره کارشناسی ارشد:
رتبه دانشگاهی:	محل خدمت:
	سنوات تدریس در دوره دکتری:
	آدرس و تلفن:

## 4- خلاصه پیشنهادنامه

انرژی خورشیدی یکی از منابع اصلی انرژی تجدیدپذیر است که به دلیل فراوانی، پاک بودن و هزینه پایین، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. با این حال، خطاهای متعددی که در آرایه های فتوولتائیک رخ می دهد، می تواند باعث کاهش بهره وری سیستم ها شده و خطرات ایمنی مانند آتش سوزی ایجاد کند. بنابراین، تشخیص به موقع و دقیق این خطاها نقش کلیدی در افزایش کارایی و ایمنی سیستم های فتوولتائیک ایفا می کند. این تشخیص هوشمند، از طریق تحلیل داده های سیستم و پایش وضعیت عملکرد، به بهبود برنامه های نگهداری و کاهش هزینه های تعمیرات کمک می کند. روش های یادگیری عمیق به دلیل قابلیت های خود در استخراج ویژگی های پیچیده، ابزار مناسبی برای تشخیص خطاهای فتوولتائیک هستند. در این پژوهش، برای بهبود دقت و سرعت تشخیص خطا در سیستم های فتوولتائیک تحت MPPT، از یک مدل ترکیبی بهره خواهیم برد که از یادگیری خود نظارتی برای استخراج ویژگی های بهتر، شبکه KAN به جای MLP برای بهبود یادگیری، و مکانیسم توجه برای افزایش دقت استفاده می کند. این روش به ما اجازه می دهد تا با بهره گیری از ویژگی های مهم داده ها و تمرکز بر اطلاعات بحرانی، دقت تشخیص خطا را به صورت قابل توجهی افزایش دهیم.

## 5- واژگان کلیدی

انرژی خورشیدی، یادگیری عمیق، تشخیص خطا، آرایه های فتوولتائیک

## 6- اهمیت موضوع و بیان مسأله

برای چند دهه اخیر، تخلیه مداوم سوخت فسیلی کاربردهای انرژی تجدیدپذیر<sup>1</sup> را ارتقا داده است. در میان این انرژی های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی یکی از جذاب ترین منابع انرژی با مزیت پایان ناپذیر بودن، پاک و اقتصادی

<sup>1</sup> Renewable energy

بودن است. با این حال انواع خطا در آرایه‌های فتوولتائیک<sup>۱</sup> به شدت مانع کارایی و ایمنی سیستم‌های فتوولتائیک شده و حتی باعث خطراتی مانند آتش‌سوزی می‌شوند. به منظور اطمینان از کارایی و عملکرد ایمن سیستم‌های فتوولتائیک باید اقدامات حفاظتی با این تاسیسات همراه باشد. خطاهای موجود در سامانه‌های فتوولتائیک عمدتاً شامل خطاهای اجزای سامانه فتوولتائیک هستند که از ماژول‌های کثیف، پوشش برف، سایه‌دهی محلی<sup>۲</sup> و پیری ماژول<sup>۳</sup> نشأت می‌گیرند. با توجه به کاربرد وسیع یادگیری عمیق<sup>۴</sup> در حوزه‌های مختلف، ما تلاش می‌کنیم که از این قابلیت در جهت تشخیص خودکار خطا در سامانه‌های فتوولتائیک بهره ببریم [1].

## ۷- پیشینه تحقیق

تشخیص خطا<sup>۵</sup> عمدتاً به بررسی تشخیص، جداسازی و شناسایی انواع خطاهای سیستم می‌پردازد از جمله شناسایی اینکه در چه زمان و در چه موقعیتی خطا رخ داده است. این فرآیند ردیابی خطاها بر اساس علائم خطا، دانش خطا و تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش است [2]. تشخیص خطا می‌تواند به روش‌های تحلیلی مبتنی بر مدل و مبتنی بر داده تقسیم شود. روش‌های تحلیلی مبتنی بر مدل عموماً از مدل‌های ریاضی دقیق سیستم و پردازش سیگنال ورودی و خروجی قابل مشاهده برای ساخت سیگنال‌های باقیمانده<sup>۶</sup> استفاده می‌کنند. سیگنال باقیمانده می‌تواند تناقض بین انتظارات سیستم و شرایط واقعی را منعکس کند و می‌تواند برای تشخیص خطا استفاده شود. روش‌های مبتنی بر مدل تحلیلی به شدت به یک مدل ریاضی دقیق از سیستم در حال تشخیص وابسته هستند. در عمل ایجاد یک مدل ریاضی دقیق از سیستم، به ویژه برای سیستم‌های پیچیده دشوار است. در این حالت، روش مبتنی بر مدل دیگر قابل اجرا نیست. با این حال با توسعه فناوری اطلاعات، حجم زیادی از داده‌های سیستم را می‌توان ذخیره و تحلیل کرد که منجر به روش‌های تشخیص خطا مبتنی بر داده شده است. روش‌های مبتنی بر داده از مدل‌های هوش مصنوعی<sup>۷</sup> برای تحلیل داده‌های سیستم استفاده می‌کنند تا تشخیص خطا بدون دانستن مدل تحلیلی دقیق سیستم تکمیل شود [3].

بسیاری از تکنیک‌های ردیاب نقطه حداکثر توان<sup>۸</sup> نیز در سیستم‌های فتوولتائیک برای به حداکثر رساندن توان خروجی آرایه فتوولتائیک استفاده می‌شوند. این الگوریتم‌های MPPT می‌توانند قدرت خروجی سیستم‌های فتوولتائیک را با جستجوی سریع نقطه حداکثر توان<sup>۹</sup> و دقیق بهبود بخشند. اگرچه MPPT توان خروجی را بهینه می‌کند، اما ممکن است عملکرد دستگاه‌های حفاظتی الکترونیکی را برای تشخیص عیوب مختل کند. هنگامی که یک خطا رخ می‌دهد، جریان و ولتاژ خروجی آرایه فتوولتائیک به شدت از شرایط عادی منحرف می‌شود که منجر به

<sup>1</sup> Photovoltaic (PV) arrays

<sup>2</sup> Localized shading

<sup>3</sup> Module degradation

<sup>4</sup> Deep learning

<sup>5</sup> Fault detection

<sup>6</sup> Residual signals

<sup>7</sup> Artificial Intelligence (AI)

<sup>8</sup> Maximum Power Point Tracker (MPPT)

<sup>9</sup> Maximum Power Point (MPP)

افت غیرمنتظره توان می‌شود و سپس MPPT به جستجوی نقطه حداکثر توان جدید ادامه می‌دهد تا زمانی که همگرا شود که منجر به یک فرآیند گذر<sup>۱</sup> الکتریکی در حوزه زمان می‌شود. در نهایت، هنگامی که MPPT همگرا شد سیستم‌های فتوولتائیک به یک حالت پایدار جدید، یعنی مرحله پس از خطا<sup>۲</sup> دست می‌یابد، تغییر جریان و ولتاژ آرایه فتوولتائیک به اندازه فرآیند گذر در حوزه زمانی قابل توجه نیست. در نتیجه بهینه‌سازی سریع الگوریتم MPPT ممکن است سبب شود که جریان و ولتاژ آرایه فتوولتائیک به سرعت به محدوده نرمال باز گردند که ممکن است مانع از عملکرد حفاظتی فیوز<sup>۳</sup> و قطع کننده مدار شود [2].

وی گاو و همکاران در سال 2020 به بررسی چالش‌های شناسایی نقص در ماژول‌های فتوولتائیک پرداختند. در این تحقیق، منحنی‌های I-V، دما و تابش به عنوان داده‌های ورودی مورد استفاده قرار گرفت و یک مدل ترکیبی شامل شبکه عصبی کانولوشن<sup>۴</sup> و واحد تکرار گیت‌دار باقی‌مانده<sup>۵</sup> برای شناسایی نقص‌های آرایه PV پیشنهاد شد. این مدل با داشتن یک ماژول CNN یک‌بعدی با ساختار چهار لایه و یک ماژول Res-GRU، مزایایی نظیر تشخیص خطای انتها به انتها، عدم نیاز به استخراج ویژگی‌های دستی و قابلیت عملکرد در غیاب دما و تابش را داراست. دقت طبقه‌بندی این روش 98.61 درصد بوده و در غیاب دما و تابش، دقت آن به 95.23 درصد می‌رسد [1].

وی شیایوانگ لو و همکاران در سال 2019 به بررسی تشخیص نقص در آرایه‌های فتوولتائیک پرداختند. در این تحقیق، ویژگی‌های ورودی برای شناسایی نقص‌ها از داده‌های زمانی ترانزیت تحت شرایط پیگیری حداکثر توان استخراج شد. داده‌های جریان و ولتاژ به یک نمودار زمان سری الکتریکی دوبعدی تبدیل شد تا ویژگی‌های داده‌های توالی به‌طور بصری نمایان شود. سپس، یک ساختار شبکه عصبی کانولوشن شامل نه لایه کانولوشن، نه لایه ماکس‌پولینگ<sup>۶</sup> و یک لایه کاملاً متصل<sup>۷</sup> برای تشخیص نقص پیشنهاد شد. این مدل به طور خودکار ویژگی‌های مناسب را از نمودار زمان سری الکتریکی استخراج کرده و در نهایت دقت متوسط بالای 99 درصد در مطالعات موردی به‌دست آورد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که این روش هم مؤثر و هم قابل اعتماد است [4].

وی شریفه کارا مستف کلایل و همکاران در سال 2021 به بررسی تأثیر انتخاب شبکه‌های عصبی مصنوعی بر کیفیت تشخیص نقص در سیستم‌های فتوولتائیک پرداختند. این تحقیق به ارزیابی پنج نوع شبکه عصبی شامل شبکه‌های پس‌انتشار<sup>۸</sup>، شبکه‌های رگرسیون عمومی<sup>۹</sup>، شبکه‌های احتمالاتی<sup>۱۰</sup> و دو نوع شبکه تابع پایه شعاعی<sup>۱۱</sup> پرداخته است. این شبکه‌ها برای شناسایی و مکان‌یابی نقص‌های متداول در سیستم‌های فتوولتائیک، مانند موارد کوتاه‌مدت و باز شدن مدار استفاده شدند. نتایج مقایسه‌ای نشان می‌دهد که شبکه‌های RBF تأثیر زیادی بر زمان واکنش الگوریتم در حضور نقص دارند، در حالی که شبکه‌های BPNN و GRNN بهترین نتایج را از نظر سرعت و دقت بالا نشان

<sup>1</sup> Transient process

<sup>2</sup> Post-fault Steady State (PSS)

<sup>3</sup> Fuse

<sup>4</sup> Convolutional Neural Network (CNN)

<sup>5</sup> Residual Gated Recurrent Unit (ResGRU)

<sup>6</sup> Max pooling

<sup>7</sup> Fully connected

<sup>8</sup> Backpropagation Neural Networks (BPNN)

<sup>9</sup> General Regression Neural Networks (GRNN)

<sup>10</sup> Probabilistic Neural Networks (PNN)

<sup>11</sup> Radial Basis Function Neural Networks (RBF)

می‌دهند. همچنین، شبکه PNN با ارائه نتایج 100 درصدی در تمام معیارهای آماری کلیدی نسبت به سایر الگوریتم‌ها حائز اهمیت است [5].

وی اول‌هاق و همکاران در سال 2020 به بررسی دسته‌بندی نقص‌های سیستم‌های فتوولتائیک پرداختند. در این تحقیق، ویژگی‌های خروجی سیستم فتوولتائیک تحت شرایط مختلف نقص، از جمله کوتاه‌مدت، عدم تطابق ماژول، مدار باز و نقص‌های چندگانه در شرایط سایه، مورد تحلیل قرار گرفت. با استفاده از یک شبکه عصبی چندلایه و الگوریتم گرادیان مقیاس‌شده<sup>1</sup>، این تحقیق به دسته‌بندی 16 نوع مختلف نقص فتوولتائیک با دقت بالا 99.6 درصد و زمان محاسباتی سریع 0.08 ثانیه پرداخته است. نتایج با استفاده از ماتریس سردرگمی<sup>2</sup> و نمودار ناحیه همگرایی<sup>3</sup> در MATLAB اعتبارسنجی شده است. دقت و زمان محاسباتی سریع نشان‌دهنده اثربخشی رویکرد مبتنی بر شبکه عصبی چندلایه در دسته‌بندی نقص‌ها به منظور افزایش خروجی قدرت و کارایی سیستم‌های فتوولتائیک است [6].

وی چین و همکاران در سال 2016 یک تکنیک تشخیص نقص جدید برای سیستم‌های فتوولتائیک مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه کردند. در این تحقیق، برای شرایط کاری خاص، از جمله تابش خورشیدی و دمای ماژول فتوولتائیک، ویژگی‌هایی مانند جریان، ولتاژ و تعداد قله‌ها در خصوصیات جریان-ولتاژ محاسبه و با مقادیر اندازه‌گیری شده در میدان مقایسه شد تا شرایط عملیاتی معیوب شناسایی شود. دو الگوریتم متفاوت برای جداسازی و شناسایی هشت نوع مختلف نقص توسعه داده شد. نتایج نشان‌دهنده دقت بالای این تکنیک در تشخیص و طبقه‌بندی نقص‌های مختلف در آرایه‌های فتوولتائیک است [7].

وی باسنت و همکاران در سال 2020 یک مدل تشخیص نقص هوشمند برای تشخیص نقص در سیستم‌های فتوولتائیک ارائه کردند. در این تحقیق، درک رفتار پارامترهای جریان و ولتاژ در شرایط مختلف محیطی برای تشخیص مؤثر نقص‌ها ضروری است. به ویژه در فصل زمستان، خصوصیات I/V در برخی حالات معیوب به شدت مشابه حالات نرمال است، که می‌تواند منجر به تشخیص نادرست سیستم‌های فتوولتائیک عملیاتی شود. برای تأیید تجربی، مجموعه داده‌های مربوط به حالات معیوب و نرمال در شرایط محیطی مختلف جمع‌آوری شد. این مجموعه داده‌ها با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی نرمال و پیش‌پردازش شده و به یک شبکه عصبی احتمالاتی تغذیه شدند. مدل PNN در مقایسه با سایر روش‌های طبقه‌بندی در یادگیری ماشین دقت بالاتری را نشان داد [8].

دنیز کرکماز و هاکان آچیک‌گوز در سال 2022 یک روش کارآمد برای طبقه‌بندی نقص‌ها در ماژول‌های فتوولتائیک ارائه کردند. تولید برق فتوولتائیک یکی از منابع انرژی پاک و پایدار است. بنابراین، تشخیص و طبقه‌بندی سریع نقص‌ها می‌تواند به افزایش قابلیت اطمینان سیستم‌های فتوولتائیک و کاهش هزینه‌های عملیاتی کمک کند. این مطالعه یک روش تشخیص نقص فتوولتائیک را با استفاده از تصاویر حرارتی ارائه می‌دهد که به عنوان یک شبکه عصبی کانولوشن چندمقیاسی با سه شاخه طراحی شده است. دقت متوسط برای تشخیص نقص‌ها 97.32 درصد و برای 11 نوع ناهنجاری 93.51 درصد به دست آمد. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که این روش دقت طبقه‌بندی و

<sup>1</sup> Scaled Conjugate Gradient Algorithm (SCG)

<sup>2</sup> Confusion matrix

<sup>3</sup> Region of Convergence (ROC)

مقاومت بالاتری را در نقص‌های پنل فتوولتائیک ارائه می‌دهد و از سایر روش‌های یادگیری عمیق و مطالعات موجود پیشی می‌گیرد [9].

یونانس وان گومپل، دومنیکو اسپینا و کریس دولدر در سال 2022 یک تکنیک تشخیص نقص مبتنی بر ماهواره برای سیستم‌های فتوولتائیک (PV) معرفی کردند. نقص‌ها در سیستم‌های فتوولتائیک به دلیل عیوب تولید و سایش اجتناب‌ناپذیر هستند و می‌توانند منجر به کاهش انرژی، خطر آتش‌سوزی و شوک الکتریکی شوند. این تحقیق بر روی تشخیص نقص با استفاده از داده‌های آب و هوایی ماهواره‌ای و اندازه‌گیری‌های اینورتر با فرکانس پایین متمرکز است. این رویکرد از شبکه‌های عصبی بازگشتی<sup>1</sup> برای شناسایی شش نوع نقص مربوطه استفاده می‌کند و قادر است به جای صرفاً بررسی آخرین اندازه‌گیری، به اطلاعات 24 ساعت گذشته توجه کند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند که این روش با دقت  $1.3 \pm 96.9\%$  با استفاده از داده‌های دقیق آب و هوایی و  $2.1 \pm 86.4\%$  با استفاده از داده‌های آب و هوایی ماهواره‌ای، حتی در شناسایی نقص‌های با شدت کم به اندازه 5٪ حساس است. این مدل همچنین قادر به تشخیص نقص‌های ناشناخته است که در داده‌های آموزشی نمایان نشده بودند [10].

---

## 8- اهداف و جنبه‌های نوین تحقیق

- طراحی یک مدل یادگیری عمیق با قابلیت دقت بالا در تشخیص خطا در آرایه‌های فتوولتائیک.
- بررسی اثر تکنیک‌های ردیاب نقطه حداکثر توان بر قابلیت این مدل و بهبود کارایی آن در حضور این تکنیک‌ها.
- استفاده از یادگیری خودنظارتی به منظور استخراج ویژگی‌های مؤثر و بهره‌گیری از شبکه عصبی توجهی و KAN برای بهبود عملکرد مدل در تشخیص دقیق‌تر و سریع‌تر خطاها.

---

## 9- روش تحقیق

### هوش مصنوعی و یادگیری عمیق

هوش مصنوعی شاخه‌ای از علوم کامپیوتر است که هدف آن ایجاد سیستم‌هایی است که بتوانند وظایفی را که معمولاً به هوش انسانی نیاز دارند، به‌طور خودکار انجام دهند. از این وظایف می‌توان به تشخیص الگو، تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری اشاره کرد. یادگیری عمیق یکی از زیرشاخه‌های هوش مصنوعی است که به واسطه‌ی ساختار شبکه‌های عصبی مصنوعی چندلایه، به الگوریتم‌ها این امکان را می‌دهد که از طریق یادگیری از داده‌های بزرگ و پیچیده، عملکردهایی نزدیک به انسان ارائه دهند [11].

یادگیری تحت نظارت<sup>2</sup> و بی‌نظارت<sup>3</sup> در یادگیری تحت نظارت، مدل‌های یادگیری عمیق با استفاده از داده‌های دارای برچسب‌های مشخص آموزش داده می‌شوند، که به مدل‌ها اجازه می‌دهد بین ورودی‌ها و خروجی‌های مربوطه ارتباط برقرار

---

<sup>1</sup> Recurrent Neural Networks (RNNs)

<sup>2</sup> Supervised learning

<sup>3</sup> Unsupervised learning

کنند و بتوانند به خوبی الگوها را شناسایی کنند. با این حال، در بسیاری از موارد، داده‌های دارای برچسب کمیاب یا دستیابی به آن‌ها زمان‌بر است. در مقابل، در یادگیری بی‌نظارت، برچسبی وجود ندارد و مدل‌ها باید به‌طور مستقل الگوها و ساختارها را در داده‌ها شناسایی کنند. یادگیری بی‌نظارت در کاربردهایی مانند خوشه‌بندی و کاهش ابعاد داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [11].

یادگیری نیمه‌نظارتی<sup>1</sup> و خودنظارتی: یادگیری نیمه‌نظارتی به ترکیب داده‌های دارای برچسب و بدون برچسب برای آموزش مدل‌ها می‌پردازد، در حالی که در یادگیری خودنظارتی<sup>2</sup>، مدل‌ها از داده‌های بدون برچسب استفاده می‌کنند اما از خود داده‌ها به‌عنوان برچسب برای یادگیری استفاده می‌کنند. در یادگیری خودنظارتی، مدل‌ها تلاش می‌کنند از خود داده‌ها بازنمایی‌هایی ایجاد کنند که برای انجام وظایف مختلفی مانند تشخیص خطا یا طبقه‌بندی قابل استفاده باشند. یکی از مزایای این روش، امکان استفاده از حجم وسیعی از داده‌های بدون برچسب برای استخراج ویژگی‌های مهم است که می‌تواند منجر به بهبود عملکرد مدل در شرایطی شود که داده‌های دارای برچسب محدود هستند [11].

### مکانیزم توجه<sup>3</sup>

مکانیزم توجه یکی از تکنیک‌های نوین یادگیری عمیق است که به مدل‌ها این امکان را می‌دهد که به قسمت‌های مهم و تأثیرگذار ورودی تمرکز بیشتری داشته باشند. در شبکه‌های عصبی سنتی، تمام داده‌های ورودی با وزن‌های یکسان پردازش می‌شوند، اما در واقعیت، همه اطلاعات ورودی به یک اندازه مهم نیستند. با استفاده از مکانیزم توجه، مدل‌ها می‌توانند به قسمت‌هایی از داده‌ها توجه بیشتری داشته باشند و آن‌ها را با اهمیت بیشتری پردازش کنند. این روش به‌خصوص در داده‌هایی با وابستگی‌های زمانی یا مکانی مانند تصاویر و سیگنال‌ها بسیار مفید است. در مدل‌های پیشرفته مانند ترانسفورمرها<sup>4</sup>، مکانیزم توجه یکی از اصلی‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده است [12].

### شبکه کولموگوروف-آرنولد<sup>5</sup>

شبکه‌های KAN یکی از روش‌های پیشرفته در معماری شبکه‌های عصبی است که از مکانیزم توجه همراه با ویژگی‌های هسته‌ای<sup>6</sup> برای پردازش داده‌ها استفاده می‌کند. در این مدل‌ها، مکانیزم توجه به بهبود قدرت استخراج ویژگی‌های مدل کمک می‌کند، در حالی که قابلیت‌های شبکه‌های هسته‌ای به تشخیص بهتر الگوها در داده‌های پیچیده مانند سیگنال‌های غیرخطی و نویزی کمک می‌کند. یکی از مزایای اصلی KAN نسبت به شبکه‌های سنتی مانند شبکه‌های تمام‌پیوندی<sup>7</sup>، توانایی این مدل‌ها در فیلتر کردن اطلاعات غیرمهم و تمرکز روی ویژگی‌های کلیدی است [13].

### داده‌ها

---

<sup>1</sup> Semi-supervised learning

<sup>2</sup> Self-supervised learning

<sup>3</sup> Attention mechanism

<sup>4</sup> Transformers

<sup>5</sup> Kolmogorov-Arnold Network (KAN)

<sup>6</sup> Kernel-based

<sup>7</sup> Multi-Layer Perceptron (MLP)

داده‌های سیستم عیب‌یابی متصل به شبکه فتوولتائیک<sup>۱</sup> از آزمایش‌های آزمایشگاهی در یک سیستم میکروگرید فتوولتائیک جمع‌آوری شده است. این مجموعه شامل ۱۶ فایل داده است که هر یک به یک سناریوی آزمایش خاص تعلق دارد. این سناریوها شامل عیوب مختلف آرایه فتوولتائیک، عیوب اینورتر، ناهنجاری‌های شبکه، عیوب حسگر بازخورد و عیوب کنترلر MPPT هستند [14].

در هر فایل داده، اندازه‌گیری‌های مختلفی مانند ولتاژ، جریان و پارامترهای مربوط به ولتاژ و جریان سه‌فاز ثبت شده است. همچنین، داده‌ها شامل بزرگی جریان و ولتاژ و فرکانس‌های مربوطه نیز می‌باشند. هدف از جمع‌آوری این داده‌ها، استفاده از آن‌ها برای طراحی و اعتبارسنجی الگوریتم‌های مختلف عیب‌یابی و تشخیص در سیستم‌های فتوولتائیک به منظور حفاظت و نگهداری بهینه است [14].

### روش تحقیق

در این پژوهش، ما قصد داریم با استفاده از روش‌های پیشرفته‌ی یادگیری عمیق، سیستمی برای تشخیص خطا در آرایه‌های فتوولتائیک که تحت تکنیک MPPT فعالیت می‌کنند، طراحی کنیم. روش ما ترکیبی از یادگیری خودنظارتی برای استخراج ویژگی‌های پیچیده، شبکه عصبی KAN برای بهبود عملکرد تشخیص، و مکانیزم توجه برای افزایش دقت در شناسایی الگوهای خطا است.

پس از پیش‌پردازش داده‌ها، از یادگیری خودنظارتی برای استخراج ویژگی‌های مهم از سیگنال‌ها استفاده می‌کنیم. در این مرحله، مدل یادگیری خودنظارتی بدون نیاز به برچسب‌های دقیق خطاها از داده‌های ورودی استفاده می‌کند تا بازنمایی‌های معناداری از داده‌ها استخراج کند. این ویژگی‌ها سپس به شبکه عصبی برای تشخیص خطاها تغذیه می‌شوند.

در این مرحله، ویژگی‌های استخراج‌شده از طریق شبکه KAN پردازش می‌شوند. استفاده از مکانیزم هسته‌ای در این شبکه به مدل کمک می‌کند که از داده‌های نویزی و پیچیده عبور کند و الگوهای خطا را با دقت بیشتری شناسایی کند. شبکه KAN همچنین با استفاده از مکانیزم توجه، قسمت‌هایی از سیگنال‌ها که حاوی اطلاعات خطا هستند را شناسایی کرده و بر روی آن‌ها تمرکز بیشتری می‌کند.

روش پیشنهادی با بهره‌گیری از یادگیری خودنظارتی، KAN، و مکانیزم توجه، مدلی کارآمد و دقیق برای تشخیص خطا در سیستم‌های فتوولتائیک فراهم می‌کند. این روش نه تنها دقت تشخیص را افزایش می‌دهد، بلکه می‌تواند اثرات تکنیک MPPT را نیز به حداقل برساند، که منجر به تشخیص سریع‌تر و مؤثرتر خطاها در آرایه‌های فتوولتائیک می‌شود.

---

### 10- مراجع

- [1] Gao, W & Wai, R.-J., "A novel fault identification method for photovoltaic array via convolutional neural network and residual gated recurrent unit ", *IEEE Access* ,p. 159493–159510, 2020 .

---

<sup>1</sup> Grid-connected PV System Faults (GPVS-Faults)



- [2] Mian, Z., Deng, X., Dong, X., Tian, Y., Cao, T., Chen, K & ,Al Jaber, T., “A literature review of fault diagnosis based on ensemble learning ”,*Engineering Applications of Artificial Intelligence* , جلد 127, p. 107357, 2024 .
- [3] Yuan, Z., Xiong, G & ,Fu, X., “Artificial neural network for fault diagnosis of solar photovoltaic systems: A survey ”,*Energies* ,جلد 15, p. 8693, 2022 .
- [4] Lu, X., Lin, P., Cheng, S., Lin, Y., Chen, Z., Wu, L & ,Zheng, Q., “Fault diagnosis for photovoltaic array based on convolutional neural network and electrical time series graph ”, *Energy Conversion and Management* ,جلد 196, p. 950–965, 2019 .
- [5] Kara Mostefa Khelil, C., Amrouche, B., Kara, K & ,Chouder, A., “The impact of the ANN’s choice on PV systems diagnosis quality ”,*Energy Conversion and Management* ,جلد 240, p. 114278, 2021 .
- [6] Ul-Haq, A., Sindi, H. F., Gul, S & ,Jalal, M., “Modeling and fault categorization in thin-film and crystalline PV arrays through multilayer neural network algorithm ”,*IEEE Access* ,جلد 8, p. 102235–102255, 2020 .
- [7] Chine, W., Mellit, A., Lughi, V., Malek, A., Sulligoi, G & ,Massi Pavan, A., “A novel fault diagnosis technique for photovoltaic systems based on artificial neural networks ”,*Renewable Energy* ,جلد 90, p. 501–512, 2016 .
- [8] Basnet, B., Chun, H & ,Bang, J., “An intelligent fault detection model for fault detection in photovoltaic systems ”,*Journal of Sensors* ,p. 6960328, 2020 .
- [9] Korkmaz, D & ,Acikgoz, H., “An efficient fault classification method in solar photovoltaic modules using transfer learning and multi-scale convolutional neural network ”,*Engineering Applications of Artificial Intelligence* ,جلد 113, p. 104959, 2022 .
- [10] Van Gompel, J., Spina, D & ,Develder, C., “Satellite based fault diagnosis of photovoltaic systems using recurrent neural networks ”,*Applied Energy* ,جلد 305, p. 117874, 2022 .
- [11] Gui, J., Chen, T., Zhang, J., Cao, Q., Sun, Z., Luo, H & ,Tao, D., “A survey on self-supervised learning: Algorithms, applications, and future trends ”,*IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* .2024 ,
- [12] Brauwers, G & ,Frasincar, F., “A general survey on attention mechanisms in deep learning ”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* ,جلد 35, p. 3279–3298, 2023 .

[13] Liu, Z., Wang, Y., Vaidya, S., Ruehle, F., Halverson, J., Soljačić, M., Hou, T. Y & Tegmark, M., “KAN: Kolmogorov-Arnold network ”, *arXiv* .2024 ,

[14] Bakdi, A., Guichi, A., Mekhilef, S & Bounoua, W., “GPVS-Faults: Experimental data for fault scenarios in grid-connected PV systems under MPPT and IPPT modes ”, *Mendeley Data* , جلد 1, 2020

## 11- استفاده‌کنندگان از نتیجه پایان‌نامه

پژوهشگران و دانشگاهیان می‌توانند از نتایج این پایان‌نامه برای پیشبرد تحقیقات خود و توسعه روش‌های جدید استفاده کنند. همچنین، متخصصان صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند از تکنیک‌های تشخیص خطا و بهبود عملکرد سیستم‌های فتوولتائیک بهره‌مند شوند. سیاست‌گذاران نیز می‌توانند از اطلاعات ارائه‌شده برای طراحی سیاست‌های مؤثرتر در زمینه انرژی خورشیدی استفاده کنند. نهایتاً، عموم مردم نیز می‌توانند با آگاهی از مشکلات و روش‌های تشخیص آن‌ها، تصمیمات بهتری در زمینه استفاده از انرژی خورشیدی بگیرند.

## 12- مراحل انجام و زمان‌بندی پروژه

- مدت زمان احتمالی اجرای پایان‌نامه بر حسب ماه:
- مبدأ جدول زیر زمان تصویب پیشنهادنامه و پایان آن تاریخ دفاع پایان‌نامه است.

ردیف	مراحل انجام پروژه	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	تولید داده با شبیه‌سازی												
2	انتخاب مدل عمیق مناسب و پیاده‌سازی آن												
3	بررسی اثر تکنیک‌های MPPT و تطبیق مدل												
4	تحلیل نتایج و بازبینی مراحل پیشین برای رسیدن به نتایج قابل قبول												
5	تهیه گزارش												

## 13- هزینه‌ها

- آیا برای تامین هزینه‌های انجام پایان‌نامه از سازمان‌های دیگر درخواست اعتبار شده است؟ ☐ بلی ☐ خیر

در صورت مثبت بودن، تاریخ تصویب، میزان اعتبار و نام سازمان را مشخص کنید.

- لیست وسایل و تجهیزات مورد نیاز و هزینه تقریبی آنها در صورتی که در حال حاضر در دانشگاه صنعتی همدان موجود نیست را بیان کنید.

#### 14- ضوابط آموزشی مهم

- دانشجو موظف است هر سه ماه یک بار گزارش پیشرفت تحصیلی خود را پس از تایید استاد راهنما و تصویب گروه مربوطه به اداره تحصیلات تکمیلی ارائه کند.
- تا زمانی که دانشجو از پایان نامه خود دفاع ننموده است، موظف است هر ترم واحد درسی پایان نامه را در انتخاب واحد اخذ کند. ارائه فرم تمدید سنوات از ترم پنجم الزامی است.
- هر گونه تغییر جزئی (تا یک ماه قبل از دفاع) و کلی (تا شش ماه قبل از دفاع) در موضوع پایان نامه و تغییر اساتید راهنما و تغییر یا افزودن استاد مشاور (حداکثر تا شش ماه پس از تصویب پروپوزال) باید به تصویب شورای گروه و شورای تحصیلات تکمیلی برسد.
- دانشجو موظف است **حداقل 15 روز قبل از دفاع** نسبت به تکمیل و ارائه فرم دفاع از پایان نامه به گروه آموزشی مربوطه اقدام کند.
- دانشجو موظف است **حداقل 15 روز قبل از تاریخ دفاع** متن کامل پایان نامه خود را به داوران تحویل دهد.
- دانشجو حداکثر یک ماه پس از تاریخ دفاع باید فرم تایید شده اصلاحات مطرح شده در جلسه دفاع توسط هیات داوران را به اداره تحصیلات تکمیلی ارائه کند. در غیر این صورت مطابق مصوبه هیات امنای موظف به پرداخت شهریه است.

■ موارد فوق را به دقت مطالعه کرده‌ام.

نام دانشجو: امضا:

#### 15- ضوابط اخلاقی و حرفه‌ای

- از آنجا که تحصیل در دوره کارشناسی ارشد در دانشگاه صنعتی همدان به صورت تمام وقت است، دانشجو ملزم است مطابق برنامه‌ریزی استاد(ان) راهنما در دانشگاه حضور داشته باشد.
- مالکیت ایده مطرح شده متعلق به کسی است که برای اولین بار آن را مطرح کرده است و در نتیجه هرگونه بهره‌برداری از آن باید با کسب اجازه از صاحب ایده باشد.
- انتشار اطلاعات و نتایج تحقیق به هر شکل باید با اطلاع و تایید استاد(ان) راهنما باشد.
- هرگونه رد و بدل کردن اطلاعات با افراد خارج از تحقیق تنها با اطلاع و اجازه استاد(ان) راهنما مجاز است.
- پذیرش هرگونه مسئولیت و تعهدی خارج از وظایف و تعهدات محول شده از طرف استاد(ان) راهنما باید با اطلاع و موافقت ایشان باشد.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط دانشجو انجام می‌شود و از صحت و اصالت برخوردار خواهد بود.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد خواهد شد.
- کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی همدان است و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی همدان» و یا «Hamedan University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق مادی و معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت خواهد شد. همچنین فقط اسامی افراد مرتبط با پایان‌نامه در مستخرجات ذکر خواهد شد.

که موضوع پایان‌نامه‌ام تحت عنوان:

اینجانب

و با راهنمایی استاد(ان) راهنما و با مشاوره پیشنهاد شده است موارد فوق را به دقت مطالعه کرده‌ام و با آنها موافقم. بدیهی است چنانچه تحت هر شرایطی و در هر زمان، دانشگاه خلاف موارد ذکر شده را مشاهده نماید نسبت به تصمیم اتخاذ شده هیچگونه ادعایی نداشته و حق هرگونه اعتراضی را از خود سلب و ساقط می‌نمایم.

تاریخ و امضا:

نام و نام خانوادگی دانشجو:

## 16- تاییدیه‌ها

نام و نام خانوادگی دانشجو:

عنوان پایان‌نامه:

### الف) استادان راهنما

استعلام‌های اخذ شده از سامانه همانندجو را بررسی کرده‌ام (درصد همانندی: )، و پیشنهادنامه مورد تایید است.

نام و نام خانوادگی: امضا: تاریخ:

نام و نام خانوادگی: امضا: تاریخ:

### ب) استادان مشاور

نام و نام خانوادگی: امضا: تاریخ:

نام و نام خانوادگی: امضا: تاریخ:

### ج) کارشناس پژوهش

دانشجو دوره HSE را با موفقیت گذرانده است.

نام و نام خانوادگی کارشناس پژوهش: امضا: تاریخ:

### د) گروه آموزشی

پیشنهادنامه در جلسه شماره گروه آموزشی مورخ مورد تصویب قرار گرفت.

نام و نام خانوادگی مدیر گروه: امضا: تاریخ:

### ه) تحصیلات تکمیلی

پیشنهادنامه در جلسه شماره شورای تحصیلات تکمیلی دانشگاه مورخ مورد بررسی قرار گرفت و:

☐ با شکل فعلی تصویب شد. ☐ مشروط به اصلاح فرمت تصویب شد. ☐ نیاز به اصلاحات و بررسی مجدد دارد. ☐ تصویب نشد.

نام و نام خانوادگی مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه: امضا: تاریخ:

